



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Janniina Salminen

# Maakylmän hyödyntäminen maaläm- mön ohella saneerauskohteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

28.5.2020

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Janniina Salminen Maakylmän hyödyntäminen maalämmön ohella saneeraus- kohteessa 36 sivua + 1 liite 28.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	energia-asiantuntija Kaj Karumaa yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyössä käydään läpi maalämmön ja maakylmän yleisiä vaatimuksia ja mahdollisuuksia. Työssä käydään läpi myös jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä, maankäytön suunnittelua ja huoneistoon tulevia päätelaitteita. Kiristyneet energiatehokkuusvaatimukset vaativat tutkimaan taloteknisiä ratkaisuja, joilla parantaa energiatehokkuutta myös vanhoissa, olemassa olevissa rakennuksissa.</p> <p>Insinööriyön tavoitteena on saada suuntaa antava selvitys, kuinka maakylmää voidaan hyödyntää saneerauskohteessa, kun se lisätään maalämpöjärjestelmän ohelle, siirryttäessä kaukolämmöstä maalämpöön. Aihe rajattiin koskemaan esimerkkikiinteistön yhtä rakennusta ja mitoitus- ja simuloinnin perusteella yhtä rakennuksen asuinhuoneistoa. Asuinhuoneiston jäähdytystehontarve on simuloitu käyttäen apuna Swegonin Esbo- simulointi- ja energiatehokkuus laskentaohjelmaa. Simuloinnin tuloksia on hyödynnetty huoneistoon tulevien päätelaitteiden mitoituksessa.</p> <p>Selvityksestä voidaan huomata, mitä täytyy ottaa huomioon liityttäessä maalämpöön ja maakylmään. Selville saatiin myös asuinhuoneiston jäähdytystehontarve sekä sen perusteella puhallinkonvektoreiden tarvittava koko ja jäähdytysteho. Tuloksien perusteella pystyttiin luomaan karkea kustannuslaskelma, mutta tarkempiin kustannuksiin haluttaessa selvityksen tulisi olla laajempi.</p>	
Avainsanat	maalämpö, maakylmä, saneeraus

Author Title	Janniina Salminen Ground Heating and Cooling in Old Apartment Building
Number of Pages Date	36 pages + 1 appendix 28 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Kaj Karumaa, Energy Expert Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to explore the possibilities of ground cooling along a ground heating system in an old apartment building. The goal of the project was to study factors that affect the cooling capacity requirements in a sample building.</p> <p>First the principles of the ground heating and ground cooling systems were showed at a general level. The cooling calculations in this project were made by using a calculation and simulation program. Based on the calculations, fan coil units were selected for the apartments. The cost estimate was based on the number of the fan coils, piping and other supplies.</p> <p>The result of this final year project was a summary of information that showed the requirements and possibilities for ground heating and cooling systems. The study showed that ground cooling was a good and energy efficient option for cooling the apartments also in old buildings.</p>	
Keywords	ground heating, ground cooling, renovation

## Sisälllys

### Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Maalämpö ja maakylmä	2
2.1	Maalämpö	2
2.1.1	Mitä on maalämpö?	2
2.1.2	Maalämmön nykytilanne ja tulevaisuus	2
2.1.3	Maalämmön edut ja heikkoudet	3
2.2	Maakylmä	4
2.2.1	Mitä on maakylmä?	4
2.2.2	Maakylmän nykytilanne ja tulevaisuus	4
2.2.3	Maakylmän edut ja heikkoudet	4
2.3	Maakylmän kytkentäperiaate	5
3	Maankäytön suunnittelu	6
3.1	Maankäytön suunnittelu ja kaavoitus	6
3.2	Maanalainen rakentaminen	6
3.3	Helsingin maanalainen yleiskaava	7
3.4	Energiakaivojen tilanne Helsingissä	8
3.5	Esimerkkikohteen maanalainen asemakaava	9
4	Jäähdytys- ja lämmitysteho	10
4.1	Mitoituslämpötilat	10
4.2	Maalämpöpumpun mitoitus ja toimintaperiaate	11
4.3	Energia- eli porakaivot ja putkistot	12
4.4	Lämmitystarvekäyrät eli pysyvyyssäyrät	13
4.5	Maan regeneroituminen	15
5	Rakennuksen jäähdytystehontarve	16
5.1	Jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavat tekijät	16
5.2	Yliämpenemisen vähentäminen	17
5.3	Jäähdytystehontarpeen määrittäminen	18

5.4	Päätelaitteet	18
5.4.1	Puhallinkonvektorit	18
5.4.2	Jäähdytyspalkit	19
5.4.3	Lattiaviilennys	20
5.4.4	Puhallinkonvektorin kytkennät	21
6	Esimerkkikohteen esittely	23
6.1	Kiinteistön perustiedot	23
6.1.1	Kiinteistön nykytilanne	24
6.1.2	Rakenteet	25
6.2	Kiinteistön jäähdytystehontarpeen määrittäminen	25
6.2.1	Simulointi ja kokemusperäiset arvot	26
6.2.2	Huoneiston simulointi	27
6.2.3	Huoneiston jäähdytyksen toteutus ja päätelaitteiden valinta	29
6.2.4	Puhaltimen sijoitus esimerkkihuoneistossa	30
6.3	Kustannuslaskelma esimerkkikohteeseen	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Sabiana -puhallinkonvektorin mitoitus tiedot	

## Lyhenteet ja käsitteet

EC	Engine Control -moottori
energiakaivo	Nimitys porakaivolle, jota käytetään yhä yleisemmin sekä lämmönottoon että jäähdytykseen.
RakMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma

## 1 Johdanto

Kiristyneet energiamääräykset pakottavat tutkimaan erilaisia ja vaihtoehtoisia ratkaisuja vanhoille taloteknisille järjestelmille. Näin ollen esimerkiksi erilaiset lämpöpumppuratkaisut kiinteistöissä ovat yleistyneet. Tässä insinööritöössä esitetään, kuinka maakylmä toimisi viilennysmuotona esimerkki kiinteistössä. Tässä työssä maakylmän hyödyntämisellä tarkoitetaan siis porakaivojen hyödyntämistä ilman jäähdytyskonetta.

Tässä insinööritöössä tarkastellaan mahdollista tilannetta, jossa saneerausikäiseen olemassa olevaan asuinrakennukseen vaihdetaan lämmitysjärjestelmä kaukolämmöstä maalämpöön ja maalämmön ohelle lisätään maakylmäjärjestelmä puhallinkonvektoreineen viilentämään asuinhuoneistoja. Työssä esitellään maalämmön ja -kylmän yleisiä vaatimuksia ja rajoitteita sekä mahdollisuuksia. Työssä tutkitaan myös jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä sekä erilaisia päätelaitteita asuinhuoneistojen puolelle.

Esimerkkikohteena työssä on käytetty Itä-Helsingissä sijaitsevaa vuonna 1963 rakennettua taloyhtiötä, jossa on kuusi nelikerroksista kerrostaloa. Asuinhuoneiston jäähdytystehontarve on simuloitu käyttäen apuna Swegonin Esbo- simulointi- ja energiatehokkuuslaskentaohjelmaa. Simuloinnin tuloksia on hyödynnetty muun muassa puhallinkonvektoreiden mitoituksessa, jotka on tässä insinööritöössä suunniteltu tulevan asuinhuoneistoihin. Tässä työssä ja laskelmissa keskitytään enimmäkseen vain yhteen asuinhuoneistoon, mutta laskelmia voidaan hyödyntää koko kiinteistön jäähdytystehontarpeen selvittämisessä.

Tavoite tässä työssä on tehdä yleispiirteinen ja suuntaa antava selvitys olemassa olevaan asuinkeuhkotaloon tilanteesta, jossa lämmitysjärjestelmä muuttuu saneerauksen yhteydessä kaukolämmöstä maalämpöön ja mahdollistaa energiatehokkaan viilennysratkaisun eli maakylmän lisäämisen sen ohelle. Tarkoitus on käydä läpi niin maalämpöä kuin maakylmää, sillä ne liittyvät oleellisesti toisiinsa, mutta painopiste on maakylmäjärjestelmässä sekä sen yleisissä vaatimuksissa.

## 2 Maalämpö ja maakylmä

### 2.1 Maalämpö

#### 2.1.1 Mitä on maalämpö?

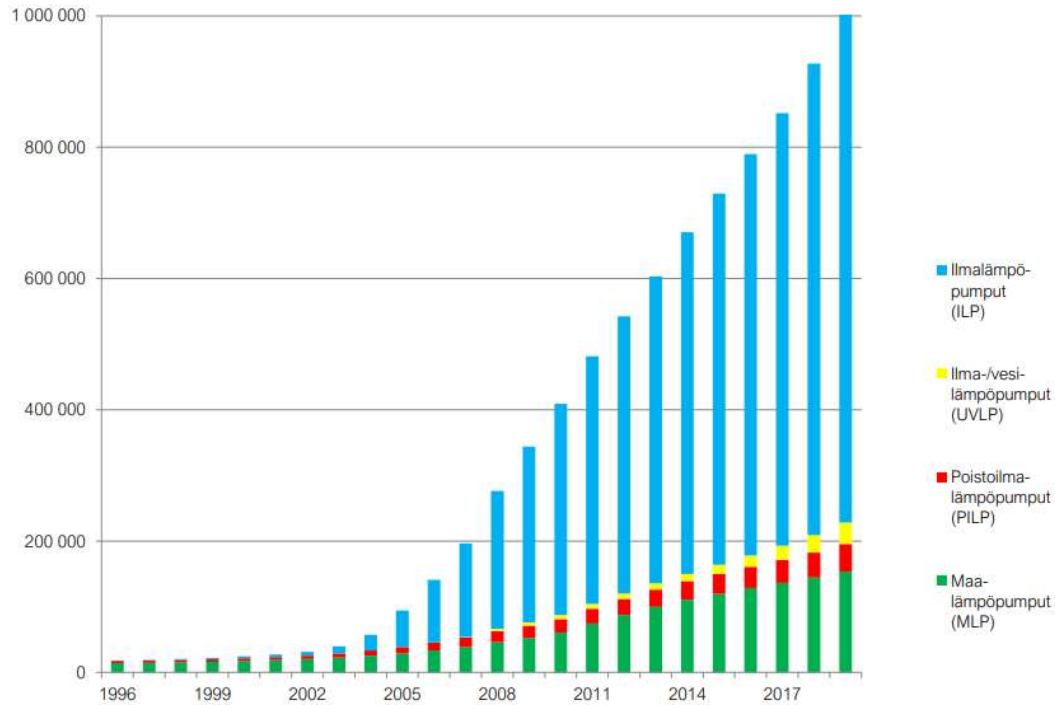
Maalämpö on luonnollinen, taloudellinen ja energiatehokas lämmitysmuoto, sillä se on uusiutuvaa energiaa eikä tämä maasta otettava osuus aiheuta hiilidioksidipäästöjä. Maalämpö on geotermistä energiaa, mikä tarkoittaa, että energia otetaan maan sisältä (1). Maaperä, kalliot ja vesistöt lämpenevät auringon säteilyn sekä maapallon kuumasta ytimestä siirtyvän lämmön ansiosta. Lämpö otetaan maaperästä tai kalliosta talteen lämmönkeruuputkistolla. Jotta matalassa lämpötilassa kerättävää lämpöä voidaan hyödyntää korkeammassa lämpötilassa tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen, tarvitaan maalämpöpumppua. Lämpö välittyy rakennukseen ja asuntoihin esimerkiksi vesikiertoisten radiaattoreiden avulla, kuten kaukolämmölläkin lämmitettäessä (2).

#### 2.1.2 Maalämmön nykytilanne ja tulevaisuus

Geotermisen energian eli maalämmön hyödyntäminen lämmitystarkoitukseen on kasvanut, sillä energia-asioihin kiinnitetään yhä enemmän ja tarkempaa huomiota. Taustalla on maailmanlaajuinen energiakysymys. Energian käytössä pyritään kestäväyyteen, jotta haitallisia ja ilmastoa kuormittavia hiilidioksidipäästöjä aiheutuisi mahdollisimman vähän. Geotermistä energiaa ja sen mahdollisuuksia ja hyötyjä tulevaisuudessa tutkitaan yhä laajemmin, esimerkiksi sen hyödyntämistä sähköntuotannossa (1).

Kuvassa 1 on esitetty vuosina 1996–2019 Suomeen myydyt lämpöpumput, joista vihreällä on kuvattu myydyt maalämpöpumput. Kuvasta voidaankin päätellä, että suosio on jatkuvassa kasvussa ja lämpöpumppuja asennetaankin yhä useampaan suomalaiseen kotiin (3).





Kuva 1. Suomeen myydyt lämpöpumput vuosina 1996–2019 (vihreällä maalämpöpumput) (3).

### 2.1.3 Maalämmön edut ja heikkoudet

Maalämmön etuina ovat sen käytön ja hyödyntämisen riippumattomuus vuodenaikasta, vuorokauden hetkestä tai sääolosuhteiden vaihteluista. Maalämpö ei aiheuta haitallisia päästöjä ilmastoon ja luontoon, eikä se rasita ympäristöä turhaan. Se on turvallinen ja pysyvä energiamuoto, ja sen etuja ovat ympäristöystävällisyys ja ekologisuus. Maalämpökaivojen rakentaminen ei aiheuta merkittäviä haittoja, sillä porausmenetelmät ovat vuosien saatossa kehittyneet ja poraaminen on aina luvanvaraista. Sillä pyritään minimoimaan merkittävät haitalliset ympäristövaikutukset (4). Mahdollisia heikkouksia maalämmöllä on kaivojen suuri tilantarve. Mitä suurempi kiinteistö tai rakennus on, mahdollisesti sitä enemmän ja syvempiä kaivoja tai maalämpökenttiä laajemmalle alueelle tarvitaan. Myös sähkön mahdollinen hinnan nousu sekä hybridi- eli lisälämmitysjärjestelmän huoltokustannukset näkyvät heikkouksina. Yhtenä riskitekijänä on myös porakaivojen alimitoitus. Alimitoitettuja porakaivoja ympäröivä kallioperä ei kykene palautumaan tarpeeksi, ja porakaivo voi jäätyä (4).

## 2.2 Maakylmä

### 2.2.1 Mitä on maakylmä?

Asumismukavuus halutaan pitää myös kuumina kesäpäivinä mahdollisimman hyvänä, joten erilaiset viilennysmahdollisuudet kiinnostavat monia. Käyttökustannuksiltaan maakylmä on kokonaistaloudellisesti kaikkein edullisin viilennysratkaisu. Siinä missä maalämpöä käytetään rakennuksen lämmittämiseen, maakylmä toimii päinvastaisesti, eli maaperään sitoutunutta matalalämpöistä energiaa hyödynnetään rakennuksen viilentämiseen. Porausreikää eli energiakaivoa käytetään kesäaikana järjestelmässä kiertävän nesteen jäähdyttämiseen. Maakylmä on näin ollen myös taloudellinen, kustannustehokas ja ympäristöystävällinen tapa viilentää rakennusta (5). Maakylmän avulla viilentämistä kutsutaan myös vapaajäähdytykseksi, sillä viilentäminen tapahtuu suoraan maaperän avulla eikä erillistä jäähdytyskonetta tarvita (2).

### 2.2.2 Maakylmän nykytilanne ja tulevaisuus

Korkea sisäilman lämpötila vaikuttaa ihmisten terveyteen sekä alentaa viihtyisyyttä. Kuumien kesien seurauksena asuinmukavuuteen on alettu kiinnittää enemmän huomiota. (6, s. 40.) Esimerkiksi Skanska on rakentanut vuonna 2014 valmistuneet asuin- ja työpaikkakokonaisuudet Espoon Westendiin ja Espoon Niittykumpuun. Niiden asuntoihin mukavuutta kuumilla kesähelteillä luo asuntokohtainen tuloilman viilennys, joka on ekologisesti maakylmällä tuotettu (31). Mitä enemmän maalämpöjärjestelmiä tulevaisuudessa rakennetaan, sitä enemmän varmasti pyritään hyödyntämään myös maakylmää siinä ohella.

### 2.2.3 Maakylmän edut ja heikkoudet

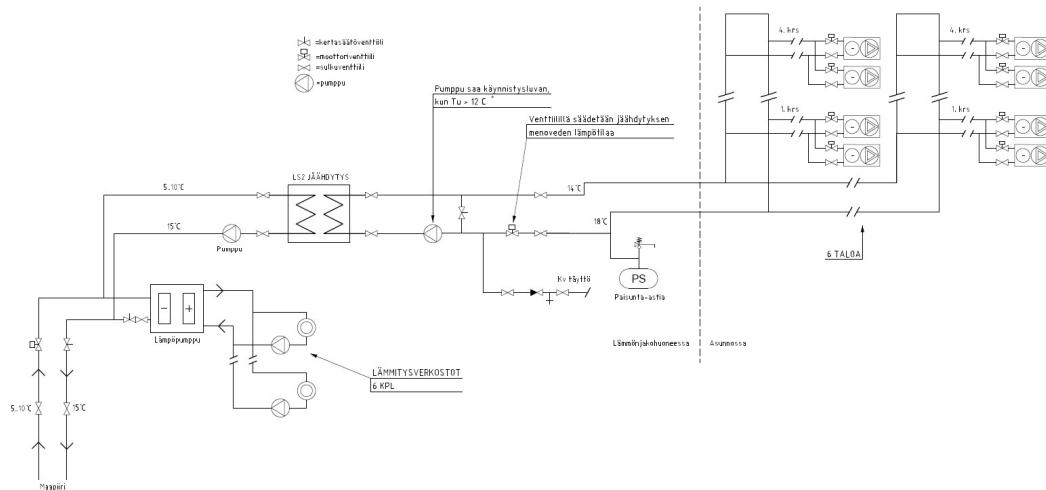
Maakylmäjärjestelmä ei tarvitse maaperän ohella erillisiä viilennyslaitteistoja, joten sen etuina ovat matalat investointi- ja käyttökustannukset varsinkin, kun se asennetaan maalämmön ohella kiinteistöön. Haitallisia päästöjä ei synny maakylmää hyödynnettäessä eikä sen käyttö myöskään riipu vuodenajasta, vuorokauden hetkestä tai sääolosuhteiden vaihteluista (5). Siinä missä maalämmön riskinä on porakaivojen alimitoitus ja sitä kautta niiden jäätyminen, maakylmän etuna on se, että sitä hyödynnettäessä lämpöä syötetään

takaisin maaperään, mikä nopeuttaa maaperän palautumista. Näin ollen porakaivoon pumpattu lämpö on uudelleenkäytettävissä lämmityskaudella (4). Maakylmän käyttö ei ole riippuvainen lämpöpumpusta, vaan se on oma erillinen järjestelmänsä. Jälkikäteen asennettuna maakylmäjärjestelmän asentaminen on hieman raskaampi urakka, mutta esimerkiksi linjasaneerauksen yhteydessä maakylmäjärjestelmän saa edullisemmin (7).

### 2.3 Maakylmän kytkentäperiaate

Kuvassa 2 on esitetty maakylmän kytkentäkaavioperiaate. Maapiiristä tulevan liuoksen lämpötila on 5–10 °C. Se kiertää maalämpöpumpun höyrystimen kautta, jossa lauhdutinpuoli toimii lämmitykseen ja höyrystinpuoli liuoksen jäähdytykseen. Lämmitysverkostot jakautuvat kuudelle talolle. Jäähdytyspiiri toimii oman lämmönsiirtimen kautta. Näin on siksi, että maapiiristä saatava 5–10 °C:n lämpöinen liuos ei pysy aina niin viileänä. Se tarvitsee lämmönsiirtimen LS2, joka erottaa maapiirin huonetilojen jäähdytyspiiristä. Maapiirissä kiertää etanoliliuos, kun taas huonetilojen jäähdytyspiirissä kiertää vesi. Tässä tapauksessa puhallinkonvektorit on mitoitettu lämpötiloille 14/18 °C. Jäähdytysverkon paluupuolella on moottoriventtiili, joka säätelee jäähdytyksen menoveden lämpötilaa. Paluupuolen pumppu on säädetty käynnistymään silloin, kun ulkolämpötila ylittää 12 °C. Maalämpöpumpun toimintaa on avattu lyhyesti luvussa 4.2.

KytKentäkaavioon on merkitty katkoviivoin raja, joka erottaa, mitkä komponentit sijaitsevat asuntojen puolella ja mitkä lämmönjakohuoneen puolella. Kuten lämmitysverkostot, myös jäähdytyspuolen verkosto jakautuu kuudelle eri talolle sekä puhallinkonvektorit neljään kerrokseen. Asunnoissa puhallinkonvektoreita ohjataan huonesäätimen avulla. Puhallin kytketään säätimen avulla päälle, kun asuinhuoneen sisälämpötila nousee ja alkaa puhalttaa viileää ilmaa asuntoon.



Kuva 2. Maakylmän kytchentäperiaate.

### 3 Maankäytön suunnittelu

#### 3.1 Maankäytön suunnittelu ja kaavoitus

Helsingissä maankäytön suunnittelussa otetaan huomioon hiilineutraalisuustavoite vuoteen 2035 mennessä, joten uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden yhdistäminen pyritään yhdistämään mahdollisimman tehokkaasti yksittäisen rakennuksen lisäksi myös alueellisesti (4). Vaikka maalämpö ja -kylmä onkin oiva tapa hoitaa rakennuksen lämmitys ja viilennys, on syytä kiinnittää huomiota siihen, onko energiakaivojen poraus alueelle ylipäättään mahdollista.

#### 3.2 Maanalainen rakentaminen

Maalämmön hyödyntämistä ja energiakaivojen poraamista rajoittaa Helsingissä maanalainen yleiskaava. Energiakaivot porataan maanpinnasta jopa satojen metrien syvyyteen, joten maalämpöselvitystä tehdessä on syytä selvittää sen vaikutukset ympäristöön. Rakentamisella ei saa aiheuttaa haittaa ympäristössä jo olemassa olevien, niin maanpäällisten kuin maanalaisten rakenteiden turvallisuuteen (4). Kuvassa 3 on esitetty ener-

giakaivon suositellut minimietäisyydet eri kohteisiin. On varmistuttava, ettei maalämpöpumpputkaivoa porattaessa vahingoiteta maanalaisia LVI-järjestelmiä (vesi-, viemäri- tai kaukolämpöputkia), sähköjärjestelmiä tai maanalaisia väestönsuojia, metrotunneleita tai pysäköintialueita (8).

Kohde	Suosittelut minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m <sup>[14]</sup>
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

\* porareian ollessa pystysuora

\*\* etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Kuva 3. Poratun energiakaivon suositellut minimietäisyydet eri kohteisiin (9).

### 3.3 Helsingin maanalainen yleiskaava

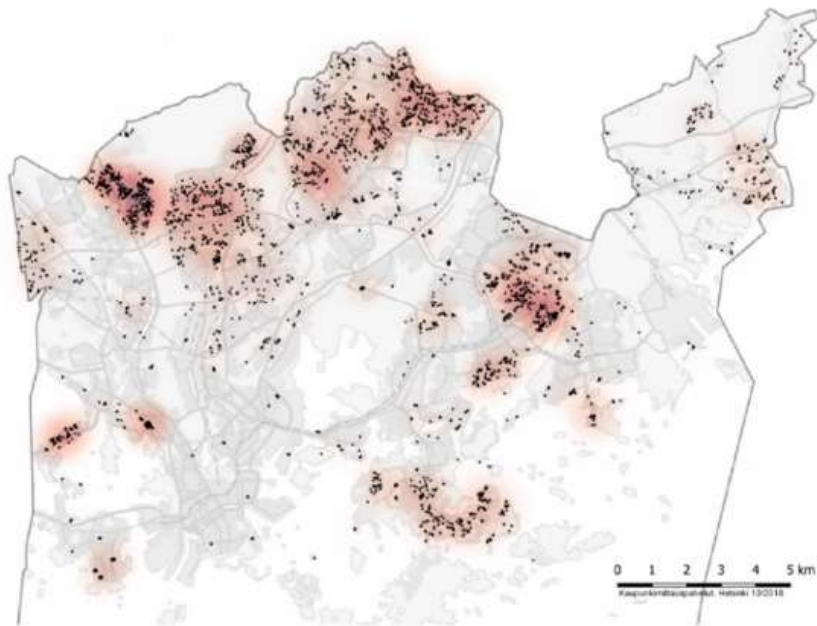
Maanalainen yleiskaava on suunnitelma, joka ohjaa maan alle tapahtuvaa rakentamista. Sen tarkoituksena on huomioida jo rakennetut maanalaiset tilat sekä turvata näiden, ja tulevaisuudessa rakennettavien maanalaisten hankkeiden tilavaraukset. Hankkeita ovat esimerkiksi metron maanalaisten osuuskien rakentaminen, sekä isot, paljon maanalaista tilaa vievät pysäköintilaitokset. Kaavassa on varauduttu maankäytön kasvuun sekä kaupunkirakentamisen tiivistymiseen ottamalla huomioon maan alle sijoittuva rakentaminen. Kaava ohjaa siten myös maalämpökaivojen porausmahdollisuuksia Helsingissä, sillä rakentaminen esimerkiksi ydinkeskustassa on tiheää nyt ja tulevaisuudessa. (10.)

Helsingissä nykytilanne on se, että sinne on laadittu kaava, joka on tullut voimaan vuonna 2011. Sen uusiminen on kuitenkin tarpeellista, sillä uusia tilantarpeita rakentamiselle on noussut esiin ja osa puolestaan vanhentunut. Kaupunki kasvaa ja tiivistyy, joten tämä täytyy ottaa myös tulevaisuuden rakentamisessa huomioon. Uuden kaavan

valmistelu on aloitettu vuonna 2017, ja uudesta kaavaehdotuksesta on arvioitu tehtävän päätös vuonna 2020. (11.)

### 3.4 Energiakaivojen tilanne Helsingissä

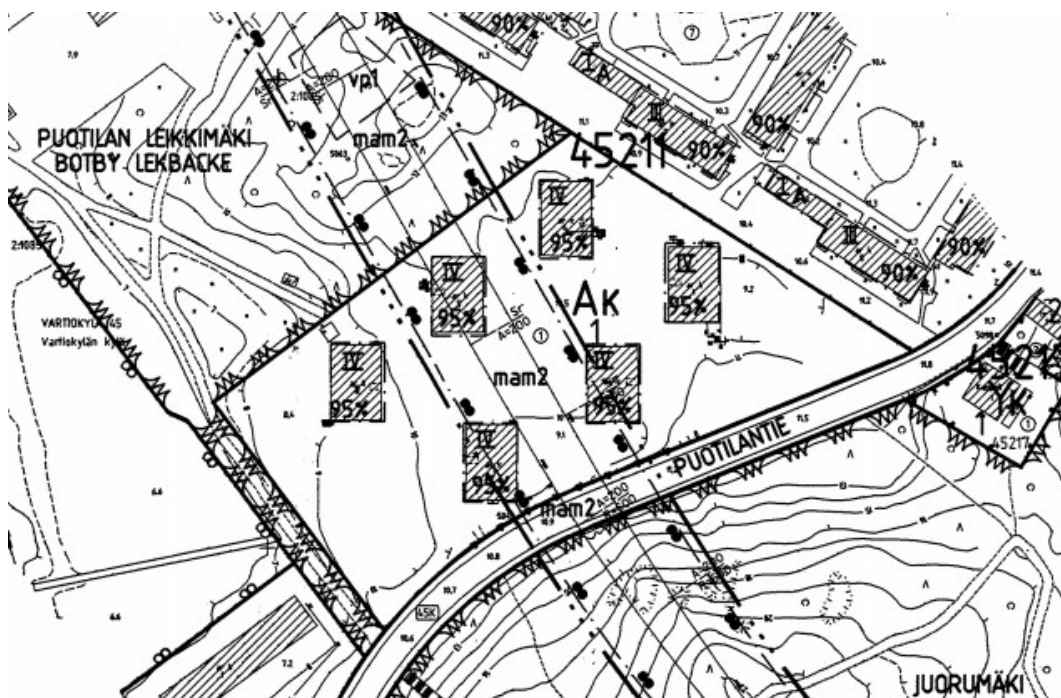
Vaikka maalämmön hyödyntäminen kokonaisuutena on kasvanut, silti Helsingin alueella vain pieni osa rakennuksista hyödyntää maalämpöä energiantarpeeseensa. Kuvassa 4 on esitetty maalämpökaivojen sijainti Helsingin alueella. Kuten kuvasta 4 voidaan nähdä, porakaivot sijaitsevat pääosin Pohjois- ja Itä-Helsingin alueilla (4).





Kuva 4. Maalämpökaivojen sijoittuminen Helsingissä vuonna 2018 (4).

### 3.5 Esimerkkikohteen maanalainen asemakaava

Kuvassa 5 on esitetty työssäni käytetyn esimerkkikohteen maanalaisen asemakaavan tilanne ja kuvassa 6 merkintöjen selitykset. Kuten kuvasta 5 voidaan nähdä, kiinteistöt sijaitsevat juuri metroradan yläpuolella, joten se voi tuoda ongelmia tai hidasteita energikaivojen poraamiselle alueelle.



Kuva 5. Esimerkkikohteen maanalainen asemakaava (12).

- |  |  |
|--|--|
| <p> Maanalainen tila metrotunnelia varten likimääräisen tason +6 alapuolella.</p> <p> Maanalainen tila metrotunnelia varten likimääräisen tason +1 alapuolella. Metrotunnelin lujittamiseen tarvittavat rakenteet saavat ulottua enintään likimääräiseen tasoon +3 asti. Tason +5 yläpuolisen rakentamisen vaatima louhinta ei saa ulottua likimääräisen tason +5 alapuolelle.</p> | <p>mam1- ja mam2-alueilla:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tulee metron runkoäänien vaimennus toteuttaa radan alusrakenteissa siten, ettei metron välittömässä läheisyydessä olevissa asuinhuoneissa eikä muissa vastaavissa tiloissa ylitetä maksimiäänitason keskiarvoa 40 dBA.</li> <li>- on rakentaminen tehtävä niin, ettei siitä aiheudu haitallista pohjaveden pinnan alenemista.</li> </ul> |
|--|--|

Kuva 6. Merkintöjen selitykset kuvaan 5 (12).



## 4 Jäähdytys- ja lämmitysteho

Lämmitystehontarve lasketaan uudisrakennuksiin RakMK:n ohjeiden ja määräysten mukaisesti ja muissa kuin uudisrakennuksissa lämmitystehontarpeen laskennassa käytetään apuna olemassa olevia mittaus- ja kulutustietoja. Näitä käytetään perusteena uusien mitoitusarvojen valinnassa (13).

Jäähdytystehontarve lasketaan myös RakMK:n ohjeiden ja määräysten mukaisesti uudisrakennuksissa. Olemassa olevissa rakennuksissa hyödynnetään mitattuja kulutustietoja jäähdytystehontarpeen laskennassa (14).

### 4.1 Mitoituslämpötilat

Ulko- ja sisäilman mitoituslämpötilat ovat lämpötiloja, joiden perusteella rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystehontarve määritetään. Lämmitysjärjestelmien mitoituslämpötilat uusissa rakennuksissa valitaan siten, että lämpöhäviöt pysyvät mahdollisimman pieninä. Lämmitysjärjestelmän toisiopuolella uudisrakennuksissa käytetään vedelle mitoituslämpötiloja 45/30 °C. Menolämpötilaksi suositellaan myös mahdollisimman matalaa lämpötilaa energiatehokkuuden ja säädettävyyden takia. Vanhoissa ja alun perin kaukolämpöön liitetyissä rakennuksissa toisiopuolen verkoston meno-/paluuveden mitoituslämpötilat ovat yleensä 90/60 °C, 80/50 °C tai 70/40 °C. Alun perin öljylämmitteisissä taloissa mitoituslämpötilat olivat usein 80/60 °C. Näin ollen lämpötilaero meno- ja paluulämpötilan välillä lämmitysjärjestelmässä on suurimmillaan noin 20–30 °C (15).

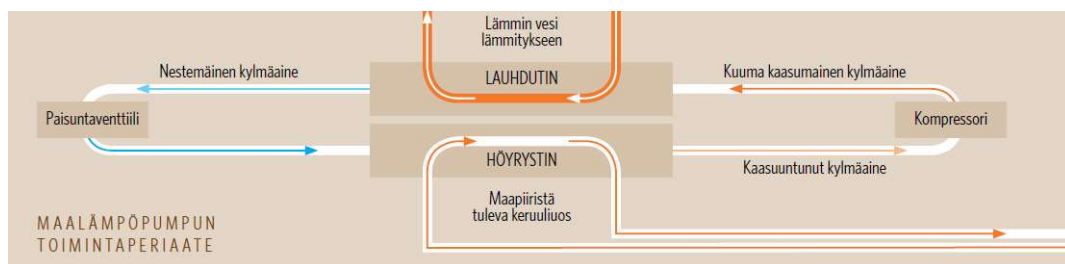
Rakentamismääräyksissä ei ole jäähdytyksen mitoitukseen annettu samalla tavalla mitoitusolosuhteita tai säätietoja kuten lämmitystehontarpeen mitoitukseen. Sille on kuitenkin annettu suunnitteluperusteita, jonka mukaan voidaan jäähdytystehontarve laskea. Mitoittavana ulkoilman lämpötilana voidaan RakMK:n osan D2 mukaan käyttää lämpötilaa +25 °C ja entalpiana 55 kJ/kg. Jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavat suuresti aurinگون sijainti ja säteily sekä rakennuksen ominaisuudet ja sisäiset lämpökuormat, joten käsinlaskenta on mahdollista, mutta kovin työlästä (16).



## 4.2 Maalämpöpumpun mitoitus ja toimintaperiaate

Maalämpöpumpun toiminta perustuu lämmönsiirtoon, jossa lämpöenergiaa siirretään kylmemmästä aineesta lämpimämpään aineeseen hyödyntäen apuna ulkopuolista energianlähdettä (6, s. 269).

Maalämpöpumppu mitoitetaan yleensä osateholle, jolloin se kattaa keskimäärin 60–80%:a rakennuksen lämpötehon huipputarpeesta, joka vastaa 95–99%:a vuotuisesta energiamäärästä (17). Näin on siksi, että huipputehontarpeen aika on suhteellisen pieni ja osateholle mitoittamalla säästetään investointikustannuksissa. Pienissä kohteissa loppuosan energiasta tuottaa monesti lämpöpumpun varaajaan asennettu sähkövastus. Suuremmissa kohteissa sen sijaan lisäenergianlähteenä toimii esimerkiksi kaukolämpö tai lämpökattila (4). Lämmitystarvekäyrän mukaisesti sähköllä tai muulla lisäenergianlähteenä lämmitettävä aika on lyhyt, joten käyttökustannukset eivät lämmittäessä kuitenkaan kasva suuriksi. Kuvassa 7 on esitetty maalämpöpumpun toimintaperiaate (17).



Kuva 7. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (17).

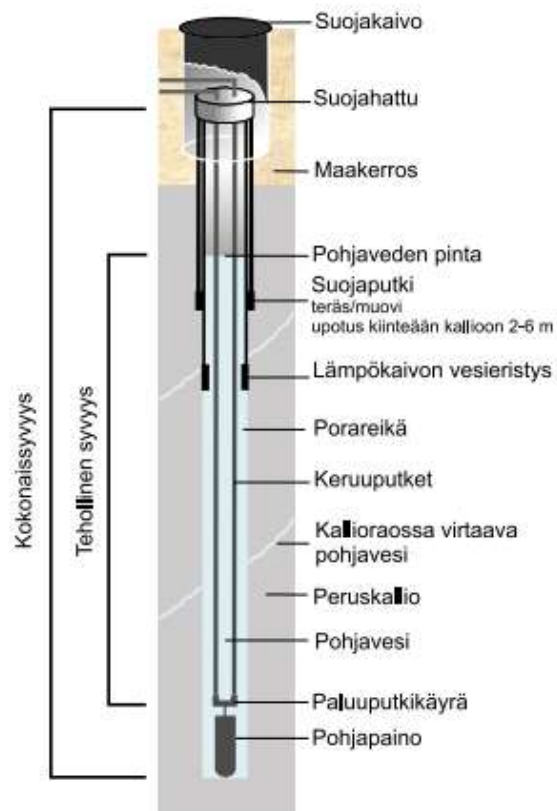
Maalämpöpumppu koostuu neljästä pääkomponentista, joita ovat höyrystin, lauhdutin, kompressori ja paisuntaventtiili. Maapiirissä kiertävä keruuliuos pumpataan höyrystimelle, jossa sen luovuttaman lämmön ansiosta kylmäaine höyrystyy eli kaasuuntuu. Kaasuuntunut kylmäaine kulkee kompressorille, joka saa aikaan kylmäainekierron järjestelmässä. Kompressori nostaa kylmäaineen paineen niin korkeaksi, että sen lauhtumislämpötila on tarpeeksi korkea rakennuksen lämmitysverkostolle. Lauhduttimessa kaasuuntunut kylmäaine ensin jäähtyy ja sen jälkeen nesteytyy eli lauhtuu lämmittäessään lämmitysverkoston vettä. Nestemäinen kylmäaine johdetaan lauhduttimesta paisuntaventtiilillä, jossa kylmäaineen paine laskee. Tämän ansiosta osa kylmäaineesta

höyrystyy ja lämpötila laskee voimakkaasti. Lopuksi kaasumainen ja nestemäinen kylmäaineseos palaa paisuntaventtiiliin kautta takaisin höyrystimeen ja maalämpöpumpun kiertoon (17).

#### 4.3 Energia- eli porakaivot ja putkistot

Energiakaivojen syvyys ja lukumäärä ovat riippuvaisia rakennuksen energiantarpeesta. Mitä enemmän energiaa rakennus tarvitsee, sitä useampia ja syvempiä porareikiä täytyy porata. Yhden porareiän syvyys on yleensä noin 120–300 metriä. Halkaisijaltaan energiakaivojen porareiät ovat noin 100–165 mm Suomessa. Keruuputkisto lasketaan painon avulla porareiän pohjalle, sillä putki ja lämmönkeruuneste ovat kevyempiä kuin vesi eikä putki pysy pohjalla ilman painoa (9).

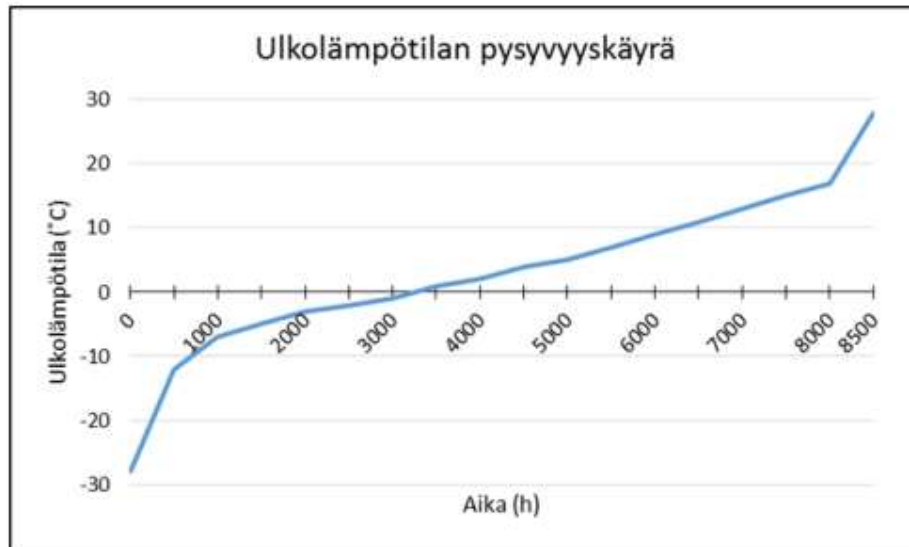
Porareiältä rakennukselle tulevia putkia kutsutaan siirtoputkiksi ja niiden asennussyvyys riippuu siitä, mitä toimintoja niiden päälle tullaan asentamaan. Asennussyvyys voi vaihdella esimerkiksi 0,4–1 metrin välillä. Siirtoputket jäävät maan alle piiloon, mutta jokaisen porakaivon päälle on laitettava suojakaivo mahdollisia huoltotoimenpiteitä varten. Kuvassa 8 on esitetty energia- eli porakaivon rakenne (9).



Kuva 8. Energia- eli porakaivon rakenne (9).

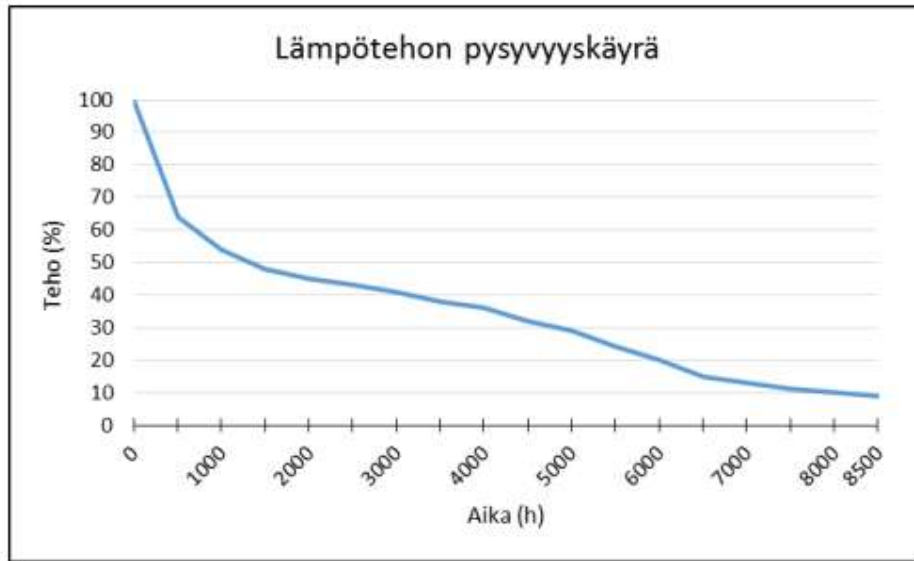
#### 4.4 Lämmitystarvekäyrät eli pysyvyyskäyrät

Lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian ja lämpöenergiatarpeen sekä lisälämmitystarpeen suhdetta kuvataan pysyvyyskäyrällä. Pysyvyyskäyrästä saadaan luettua tiettyjen lämpötila-alueiden kesto, esimerkiksi kuinka suuren osan ajasta (h/vuosi) lämpötila alittaa tai ylittää rajalämpötilan. Jos maalämpöpumppu mitoitetaan osateholle, lisälämmitystä käytetään lämmitykseen vain huipputehontarpeen aikana (18). Kuvassa 9 on esitetty ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä.



Kuva 9. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä (19).

Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrää seuraa oleellisesti lämpötehon pysyvyyskäyrä. Se muodostuu lämmityslaitoksen lämpimän käyttöveden lämmityksen sekä ulkolämpötilasta riippuvasta lämmitystehosta. Lämpötehon käyrästä voidaan nähdä, että huipputehontarve on lyhytaikainen ja energiantarve, jota se vaatii, on näin ollen pieni verrattuna vuosittaiseen energiamäärään. Jos lämpöpumppu on mitoitettu esimerkiksi osateholle 80 %, täytyy rakennuksen lämmitys, noin 400 tuntia vuodessa, tuottaa lisäenergianlähteellä. Lämmitystehoa tarvitaan siis vain osan vuotta rakennuksen lämmittämiseen, mutta suuren osan ajasta lämpimän käyttöveden valmistamiseen (19). Kuvassa 10 on esitetty lämpötehon pysyvyyskäyrä.

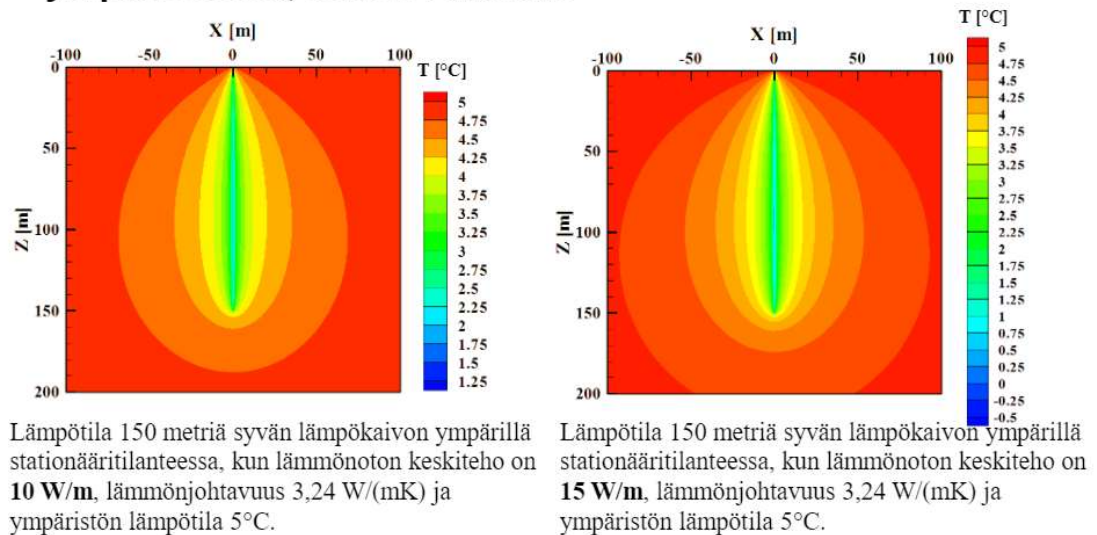


Kuva 10. Lämpötehon pysyvyyskäyrä (19).

#### 4.5 Maan regeneroituminen

Kun lämpöä kerätään energiakaivoista, sen ympärillä oleva kallio viilenee. Tätä voidaan kuitenkin hidastaa hyödyntämällä energiakaivoa myös rakennuksen viilentämistarkoitukseen. Tämä on jopa suositeltavaa, koska tällöin lämpövirta kääntyy toiseen suuntaan, rakennuksesta poistetaan lämpöä ja siirretään energiakaivoon. Regeneroitumisella tarkoitetaan uudistumista tai palautumista. Maan regeneroituminen on hyödyksi maalämpöjärjestelmälle, sillä lisäämällä maalämmön ohelle maakylmä, voidaan maalämpökaivon elinkaarta ja kapasiteettia nostaa. Porakaivoja hyödynnetään lataamalla sinne lämpimään vuodenaikana lämpöä, joka on uudelleenkäytettävissä lämmityskaudella. Täytyy kuitenkin huolehtia, että energiakaivoa ei alimitoiteta, sillä lämpötilan laskiessa alle nollan celsiusasteen vaarana on energiakaivon ja lämmönkeruuputkiston jäätyminen ja näin ollen vaurioituminen (4). Kuvassa 11 on esitetty esimerkki lämpötilan laskusta energiakaivon ympärillä.

## Esimerkki yhdestä mitoituksessa huomioitavasta näkökohdasta: Lämpötilan lasku energiakaivon ympäristössä, tehon vaikutus



Kuva 11. Lämpötilan lasku energiakaivon ympärillä (20).

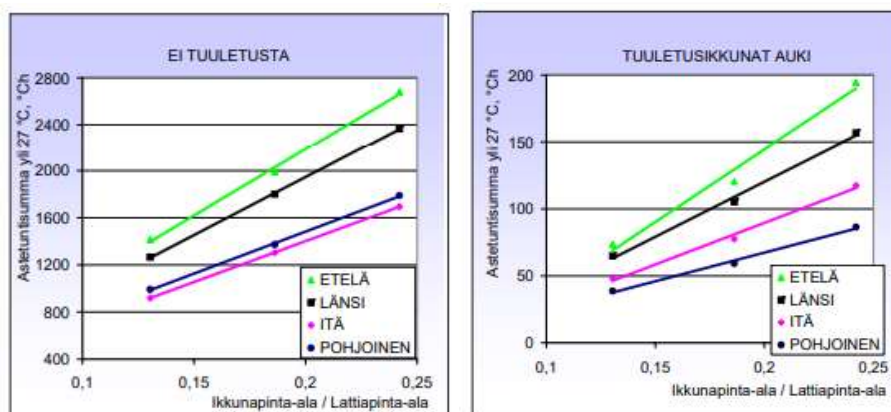
## 5 Rakennuksen jäähdytystehontarve

### 5.1 Jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavat tekijät

Huonelämpötilojen suunnitteluarvo on 21 °C, ja vaihteluväli saa lämmityskaudella olla 20–25 °C sekä lämmityskauden ulkopuolella 20–27 °C (21). Huoneistot ylikuumenevat helposti kuumina kesäpäivinä sisälämpötilaltaan jopa yli 30 °C:seen, mikä ei vastaa enää sopivaa asumismukavuutta. Yksi jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavista tekijöistä on auringosta tuleva lämpökuorma. Se tulee rakennukseen lämpösäteilynä ikkunan läpi sekä johtumalla rakenteista. Auringosta johtuvan ulkoisen lämpökuorman kanssa rakennuksen ylikuumenemiseen vaikuttavat myös sisäiset lämpökuormat. Valaistus, ihmiset, laitteet ja toiminta sisätiloissa aiheuttavat lämpökuormaa ja näin ollen edistävät rakennuksen ylikuumenemistä (16).

## 5.2 Ylilämpenemisen vähentäminen

Ikkunatuuletuksella voidaan alentaa rakennuksen ylilämpenemistä. Kuvassa 12 on esitetty taulukkomuodossa tuuletuksen ja eri ilmasuuntien vaikutus rakennuksen sisälämpötilaan. Kuten kuvasta voi päätellä, asetuntisumma eli aika, joka kuvaa tietyn raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tuloa, laskee kun käytetään tuuletusta (22).



Kuva 12. Tuuletuksen vaikutus rakennuksen lämpenemiseen (23).

Myös ikkunoiden ominaisuuksilla on suuri vaikutus ylilämpenemiseen. Osa lämpökuormasta varautuu rakenteisiin, mutta suurin osa tulee ikkunoiden kautta rakennukseen. Lämpökuorman määrään vaikuttaa ikkunan pinta-ala ja suuntaus sekä muut ominaisuudet, kuten g-arvo. G-arvo tarkoittaa auringon kokonaisläpäisykerrointa eli sitä, kuinka suuri osa auringonsäteilystä lämmittää huoneistoa. Tarkat arvot auringon säteilyn vaikutuksesta ja sen tuottamasta lämpökuorman määrästä saadaan määritettyä erilaisilla simulointiohjelmilla (16).

Ikkunan ominaisuuksiin onkin kiinnitetty enemmän huomiota, ja nykyaikaiset ja parhaimman energialuokan ikkunat ovat energiatehokkaampia kuin 1960-luvun alkuperäinen seinärakenne. Ylilämpenemistä voidaan hallita erilaisilla aurinkosuojilla sekä ikkunan ominaisuuksien avulla. Vanhoissa rakennuksissa vanhojen ikkunoiden vaihtaminen energiatehokkaampiin ikkunoihin parantaa energiatehokkuutta (24).

### 5.3 Jäähdytystehontarpeen määrittäminen

Jotta päästään tarkkoihin arvoihin rakennuksen jäähdytystehontarvetta määrittäessä, olisi syytä käyttää erilaisia laskenta- ja simulointiohjelmia, kuten Swegonin ESBO tai IDA ICE. Tehontarpeen suuruusluokka voidaan kuitenkin arvioida käyttämällä kokemusperäisiä mitoitusarvoja eri tilatyypeille. Tällä tavalla laskettuna päästään kuitenkin jo riittävän tarkkoihin lukemiin, jos halutaan käyttää yksinkertaista ja nopeaa tapaa selvittää rakennuksen jäähdytystehon tarve. Asuinhuoneiden osalta voidaan käyttää mitoitusarvoa 30–50 W/m<sup>2</sup> (16).

### 5.4 Päätelaitteet

#### 5.4.1 Puhallinkonvektorit

Puhallinkonvektori on ilmastointilaitte, jota käytetään tilojen jäähdyttämiseen. Se koostuu puhaltimesta ja lämmönsiirtimestä, jonka läpi huoneilma kiertää puhaltimen avulla ja nestepuolella kiertää lämmönkeruuneste. Sen voi huoneistossa asentaa joko kattoon, alakattoon, seinään tai lattialle, mutta sijoituksessa on syytä ottaa huomioon kondenssi-vedenpoisto. Tämä johtuu siitä, että yleensä puhallinkonvektorille menevän nesteen lämpötila on alle huoneen kastepistelämpötilan. Puhallinkonvektori kannattaa asentaa lähelle olemassa olevaa viemärintipistettä, jotta kondenssivesi saadaan johdettua viemäriin painovoimaisesti tai kondenssivesipumpun avulla. (6, s. 139). Kuvassa 13 on esitetty eräs seinämallinen puhallinkonvektori ja kuvassa 14 alakattoon asennettava puhallinkonvektori (7).



Kuva 13. Seinämallinen puhallinkonvektori (7).

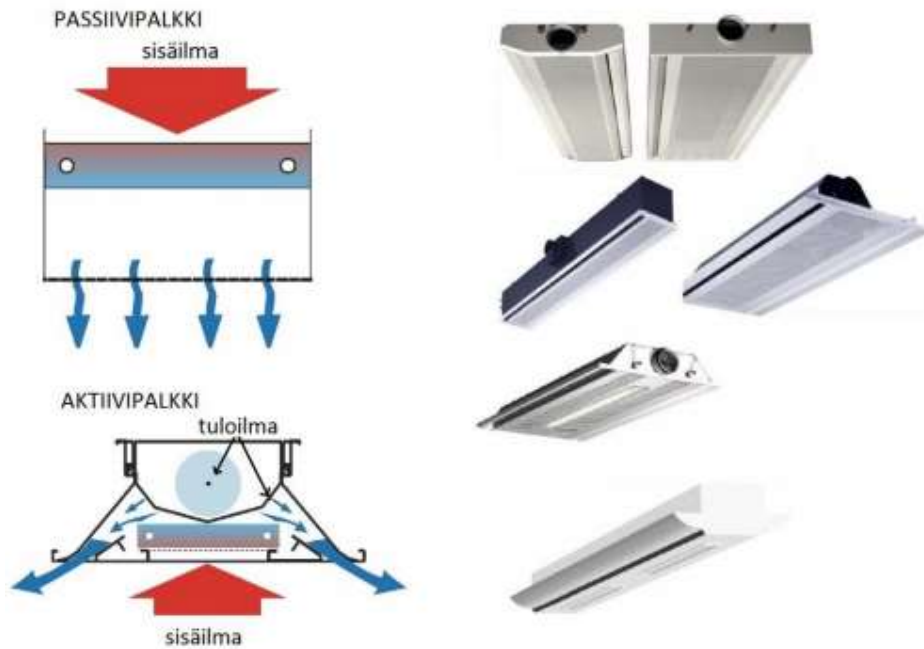




Kuva 14. Alakattoon asennettava puhallinkonvektori (7).

#### 5.4.2 Jäähdytyspalkit

Jäähdytys- eli ilmastointipalkit voidaan jakaa aktiivi- tai passiivipalkkeihin. Ne muodostuvat lamelleista sekä niihin liitetystä jäähdytysveden kiertoputkesta. Aktiivipalkkeihin on yhdistetty tuloilma, jolloin lämmönsiirto on tehokkaampaa passiivipalkkeihin verrattuna pakotetun konvektion takia. Jos kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto, jolloin koneellinen tuloilma ei ole käytössä, kysymykseen saattavat tulla passiivipalkit. Niitä käytetään pelkästään tilojen jäähdyttämiseen. Jäähdytyspalkit asennetaan huoneen kattoon joko ilman alakattoa tai alakattoon. Koska työssä on esimerkkitilana saneerauskohte, jäähdytyspalkkien käyttö, toiminta ja sijoittaminen voi olla haasteellista toteuttaa. (6, s. 142, 237.) Kuvassa 15 on esitetty aktiivi- ja passiivipalkin toimintaperiaate sekä eri malleja.



Kuva 15. Aktiivi- ja passiivipalkin toimintaperiaate sekä eri malleja (25).

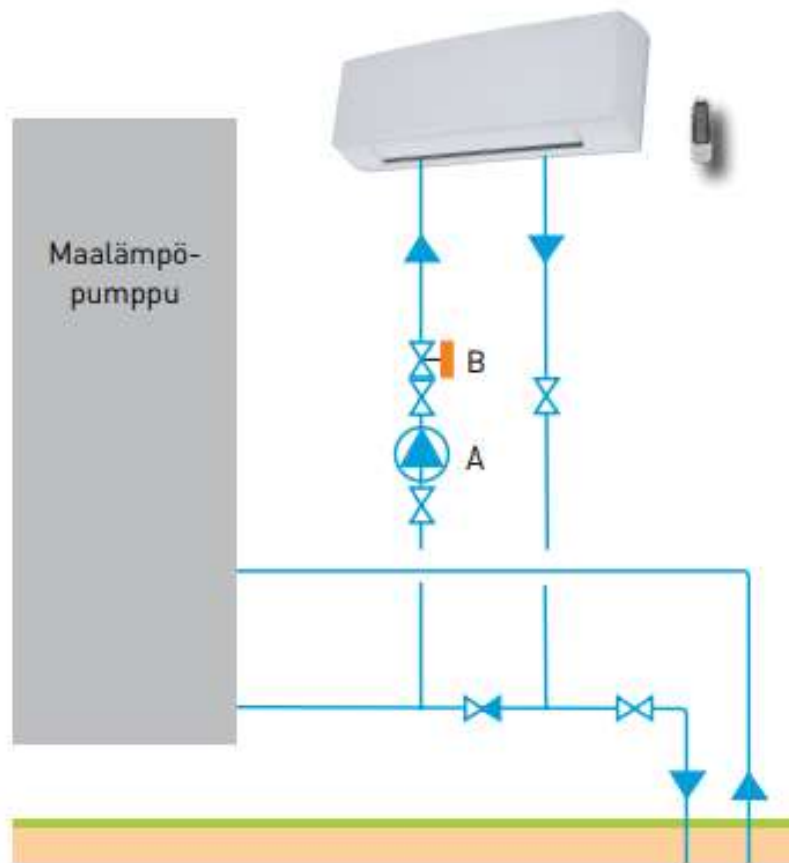
#### 5.4.3 Lattiaviilennys

Lattiaviilennyksessä hyödynnetään samoja lämmityspintoja ja putkistoja kuin lattialämmityksessä eli erillisiä viilennysputkistoja tai päätelaitteita ei tarvita. Sen teho perustuu suureen viilentävään lattiapinta-alaan ja pieneen lämpötilaeroon. Tehoa voidaan säätää huonekohtaisilla termostaateilla. Lattiaviilennys on myös hyvä vaihtoehto vähentämään asuntojen kesäaikaista ylikäynnemistä, sillä se viilentää lattiaa ja samalla huonetilan. Se on kustannustehokas tapa viilentää asuntoja, sillä yhdellä järjestelmällä saadaan aikaan sekä lämmitys että viilennys. Lattiaviilennysjärjestelmä on myös melko huoltovapaa ja käyttöikänsä pitkä. Se soveltuu erittäin hyvin maalämmön ohelle vanhoihin rakennuskohteisiin, joissa on vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmä (26).

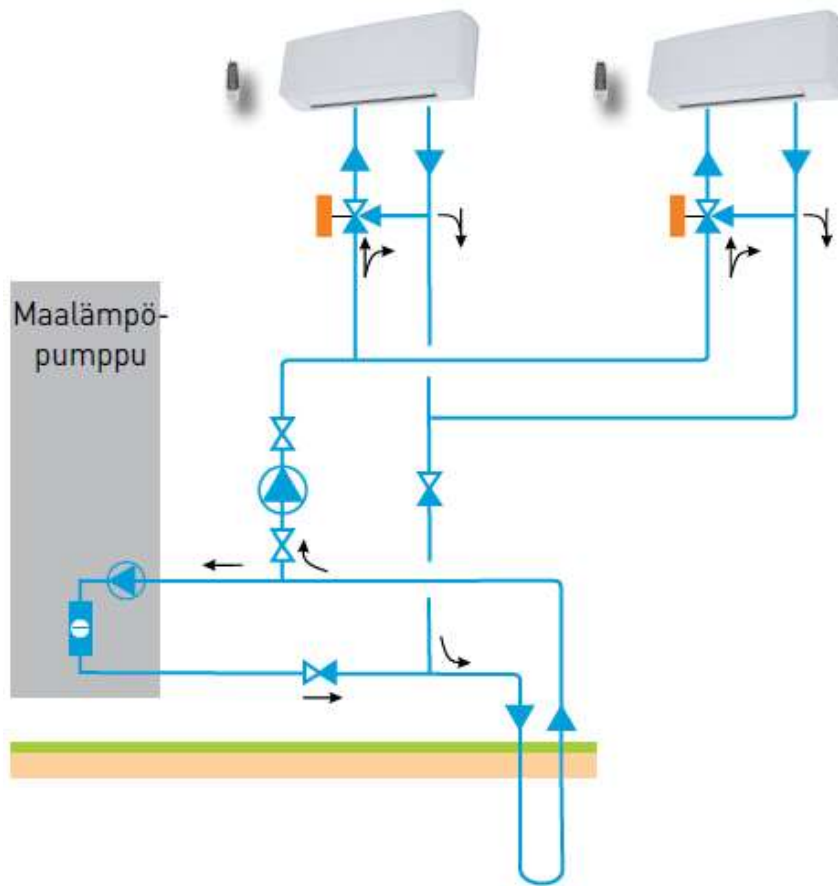
#### 5.4.4 Puhallinkonvektorin kytkennät

Maakylmän päätelaitteina huoneistojen puolella toimivat aiemmin luetellut vaihtoehdot, joilla maalämpöpumpplaitteisto voidaan täydentää. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty kytkentäperiaate yhden tai kahden puhallinkonvektorin lisäämisellä laitteistoon. Maalämpöliuosta voidaan siis kierrättää jäähdytyslaitteissa. Kun lämpötila huoneessa nousee yli asetetun lämpötila-arvon, kontaktori käynnistää kiertovesipumpun (A) ja avaa maaliuoksen magneettiventtiilin (B).

#### Asennuskaavio



Kuva 16. Maakylmän kytkentävaihtoehto yhdellä puhallinkonvektorilla (27).



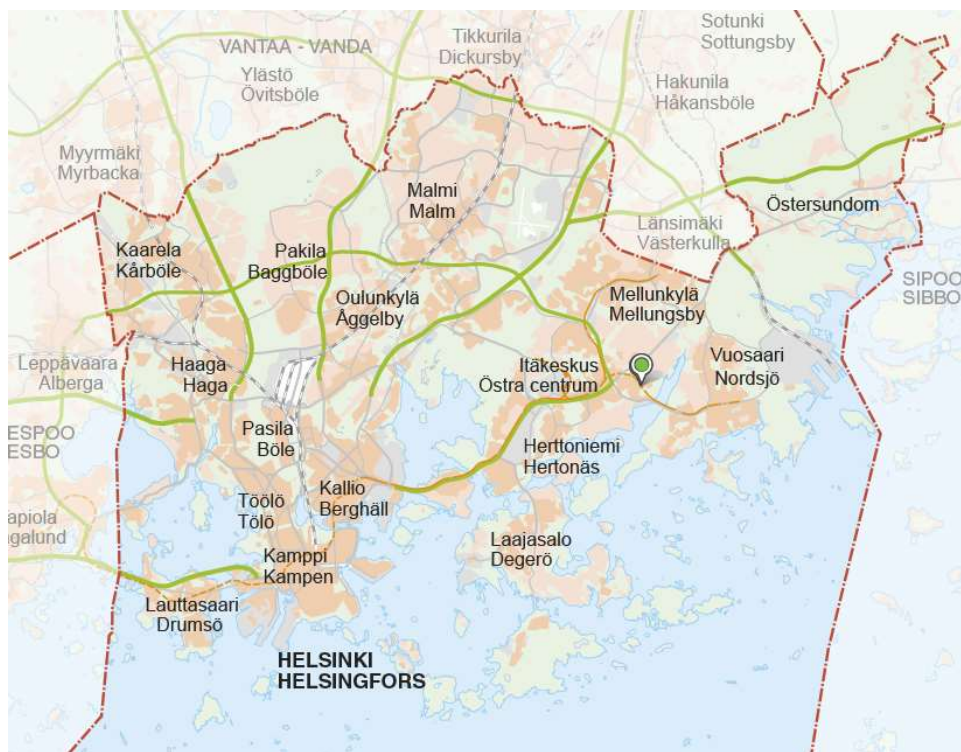
Kuva 17. Maakylmän kytkentäperiaate kahdella puhallinkonvektorilla (27).

Nämä kytkennät sopivat useimpiin maalämpöpumppuihin, ja puhallinkonvektoreina voidaan käyttää sekä katto- että seinämällistä päätelaitetta. Jos järjestelmässä on enemmän kuin yksi puhallinkonvektori, suositellaan käytettävän linjasäätöventtiilejä. Yllä esitetyt kytkennät on pääasiassa toimivia pienemmissä kiinteistöissä esimerkiksi omakotitaloissa, mutta suuremmat asuinkerrostalokiinteistöt tarvitsevat järjestelmään lämmönsiirtimen. Tällä viitataan lukuun 2.3 ja kuvaan 2, jossa on esitetty useamman puhallinkonvektorin lisääminen maakylmäjärjestelmään sekä lämmönsiirtimen sijainti järjestelmässä. Kaikki huonetilassa ja koteloiden sisällä olevat maakylmän putket on eristettävä huolellisesti (27).

## 6 Esimerkkikohteen esittely

### 6.1 Kiinteistön perustiedot

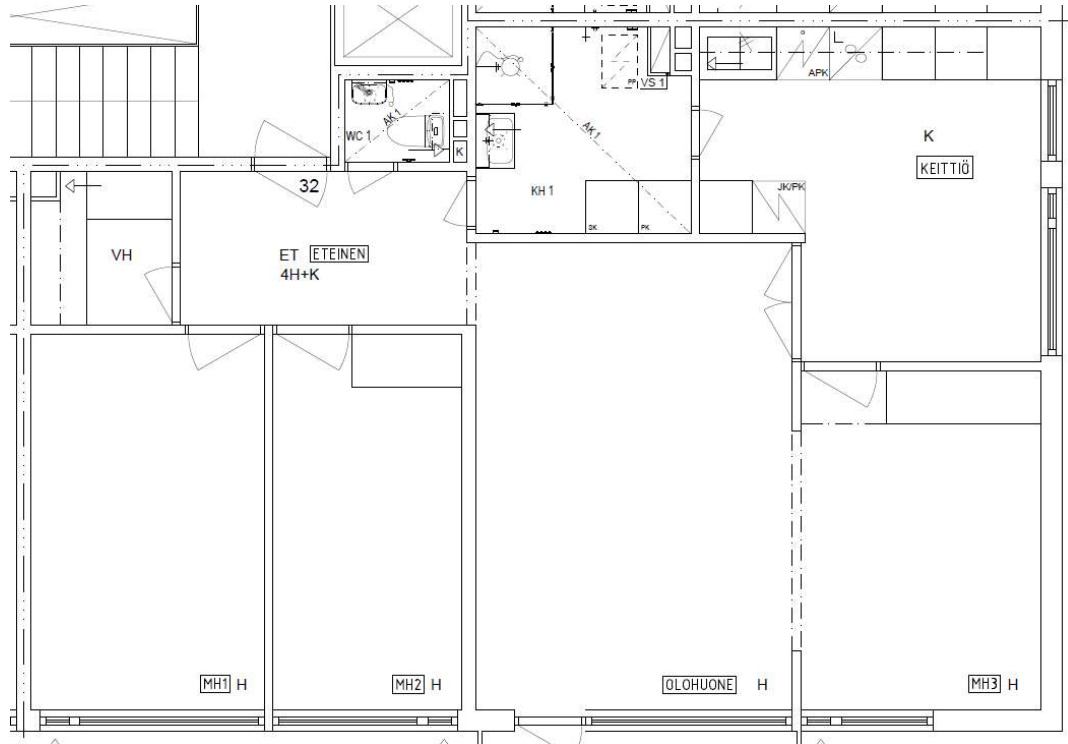
Työssä on käytetty esimerkkitapahtumana Itä-Helsingissä sijaitsevaa kiinteistöä. Asunto-osakeyhtiö koostuu yhteensä 6 rakennuksesta, joissa jokaisessa on 4 kerrosta. Asuinhuoneistoja koko kohteessa on yhteensä 112 kappaletta. Yhteenlaskettu huoneistoala on noin 7 880 m<sup>2</sup> sekä rakennustilavuus on 32 400 m<sup>3</sup>. Kiinteistöt on rakennettu vuonna 1963. Kuvassa 18 on esitetty kohteen sijainti kartalla.



Kuva 18. Esimerkkikohteen sijainti kartalla (28).

Kiinteistö koostuu useammasta rakennuksesta, mutta keskityn työssäni ja laskelmissa vain B-taloon ja sen yhteen huoneistoon. B-talossa on asuinhuoneistoja yhteensä 19 kappaletta, ja asuinhuoneistoala on 1 335 m<sup>2</sup>. Kuvassa 19 on esitetty B-talon pohjapiirustus ylimmän kerroksen mitoitettavasta huoneistosta, jonka huoneiden pinta-alat vaih-

televat 9–19 m<sup>2</sup>:n välillä. Huoneistot ovat B-talossa keskenään identtisiä ja osin peilikuvia, joten kyseisen huoneiston laskelmia voidaan hyödyntää muiden huoneistojen mitoittamisessa huomioiden ikkunan suuntaukset.



Kuva 19. Pohjapiirustus B-talon ylimmän kerroksen mitoittavasta huoneistosta.

### 6.1.1 Kiinteistön nykytilanne

Kiinteistö on liitetty Helenin kaukolämpöverkostoon, ja asunnot lämpiävät vesikiertoisten pattereiden välityksellä. Ilmanvaihtojärjestelmä on koneellinen poistoilmanvaihto, ja poistoilmaventtiilit sijaitsevat keittiöissä, kylpyhuoneissa, erillisissä vessoissa ja vaatehuoneissa. Tässä työssä maalämpö- ja maakylmäjärjestelmä suunnitellaan toteuttavaksi osana suurempaa linjasaneerausremonttia. Tämä on järkevää siksi, että pyritään mahdollisesti hyödyntämään vesijohtojen ja viemäreiden nousulinjoille varattuja kotelointeja, jotta ylimääräisiä rakenteiden avauksia ei tulisi ja kustannukset pysyvät maltillisina. Tässä työssä oletetaan, että myös jäähdytysputket mahtuvat uuteen vesijohto- ja viemäriputkien nousukoteloon. Tämä tarkoittaa sitä, että linjasaneerauksen takia asuntoihin

rakennetaan uusille vesijohdoille ja viemäreille kylpyhuoneeseen kotelo, jossa ne tuodaan piilotettuina asuntoihin. Samaa koteloa hyödynnetään siis myös jäähdytysputkille. Näiden järjestelmien lisääminen kohteeseen on mahdollista myös erikseen omana urakanaan, mutta se on huomattavasti raskaampi urakka niin kustannusten kuin asumishaittojen vuoksi. Lämpöjohtoverkostoja ei linjasaneerauksessa uusita, eli ne pysyvät entisellään.

### 6.1.2 Rakenteet

1960-luku oli elementtiteollisuuden syntyäikää ja esimerkiksi talojen arkkitehtuurissa esiintyi vaihtelua. Tyypillisiä julkisivuja olivat valkoiset tiili- ja betonijulkisivut. Katot olivat monesti tasakattoja (29). Arkkitehtuuriltaan esimerkkikohteen rakennukset edustavatkin tyypillistä 1960-luvun tyyliä. Taloissa on tasakatto ja valkoiset betoniseinät. 60-luvulle tyypillisesti myös välipohja- ja seinärakenteet ovat paikallavalettua teräsbetonia sekä alapohja on maanvaraisesti perustettu. Rakenteisiin perehdytään tarkemmin, jos linjasaneerausta suunnitellaan putkien läpivientien ja kannakointien sekä palo-osastointien takia.

## 6.2 Kiinteistön jäähdytystehontarpeen määrittäminen

Tarkoitus on työssä keskittyä vain B-taloon ja yhden sen huoneiston jäähdytystehontarpeen määrittämiseen. Jäähdytystehontarve on laskettu kahdella tavalla: käyttämällä kokemusperäisiä mitoitusarvoja sekä simuloimalla rakennus mahdollisimman tarkasti vastaamaan lähtötietoja. Rakennuksen jäähdytystehontarpeen laskennassa ja simuloinnissa on käytetty Swegonin ESBO -mitoitusohjelmaa. Koska kerrokset ovat keskenään identtisiä, jäähdytystehontarve on noin yhtä suuri jokaisessa kerroksessa ja laskelmia voidaan hyödyntää muihin huoneistoihin. Ylimmässä ja alimmassa kerroksessa tehontarve voi vähän vaihdella, mutta sillä ei ole laskelmissa suurta merkitystä.

### 6.2.1 Simulointi ja kokemusperäiset arvot

Mitoitettava ja simuloitava huoneisto on pinta-alaltaan 82 m<sup>2</sup>, ja siinä on 4 huonetta, keittiö, kylpyhuone, erillis-wc ja vaatehuone. Jokaisen huoneen jäähdytystehontarve määritettiin erikseen laskemalla ensin niiden pinta-alat. Rakennuksen lähtötiedot asetettiin mahdollisimman lähelle todenmukaisia tietoja ja rakenteita. Huomioon on otettu ilman-suunnan ja sisäisten lämpökuormien vaikutus. Myös rakennuksen vaippa, rakenteet ja ikkunat ja niiden suuntaus on otettu huomioon. Huoneiston kokonaispinta-ala on hieman suurempi kuin taulukossa 1 esitetty yhteenlaskettu pinta-ala, sillä kylpyhuonetta, ja erillis-wc:tä ei ole laskettu mukaan, mutta tällä ei ole merkitystä lopputulokseen.

Ikkunat sijaitsevat siis länteen päin, ja koska aurinko laskee länteen, säteilytehon huippu on tällä seinällä iltapäivällä. Sisäisille lämpökuormille on käytetty ympäristöministeriön asetuksen mukaisia keskimääräisiä arvoja, jotka on esitetty kuvassa 20 (30).

#### *Rakennuksen vakioitu käyttö*

E-luvun laskennassa käytettävä rakennuksen vuorokautinen ja viikoittainen käyttöaika, keskimääräinen valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja ihmisten läsnäolon käyttöaste rakennuksen käyttöajan aikana sekä sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti ovat seuraavat:

Käyttötarkoitusluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Sisäinen lämpökuorma lämmitettyä nettoalaa kohti		
		Vuorokautinen h/24h	Viikoittainen d/7d		Valaistus W/m <sup>2</sup>	Kuluttajalaitteet W/m <sup>2</sup>	Ihmiset W/m <sup>2</sup>
Luokka 1)	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	6	3	2

Kuva 20. Keskimääräiset sisäiset lämpökuormat ympäristöministeriön asetuksen mukaan (30).

Taulukossa 1 on esitetty jokaisen huoneen likimääräinen pinta-ala sekä simulointiohjelmasta ja kokemusperäisillä arvoilla saatu jäähdytystehontarve kyseiselle tilalle. Simuloidulla kokonaisjäähdytystehontarpeeksi koko huoneistolle saadaan noin 4,0 kW. Mitoitustehoksi saadaan näin ollen noin 60 W/m<sup>2</sup>.

Jäähdytystehoa laskettaessa voidaan käyttää myös kokemusperäisiä arvoja. Asuinhuoneiden jäähdytyksen mitoitusarvona voidaan käyttää 30–50 W/m<sup>2</sup> (16). Taulukossa 1 on käytetty kokemusperäisenä mitoitusarvona 30 W/m<sup>2</sup>. Tällä laskentaperiaatteella koko



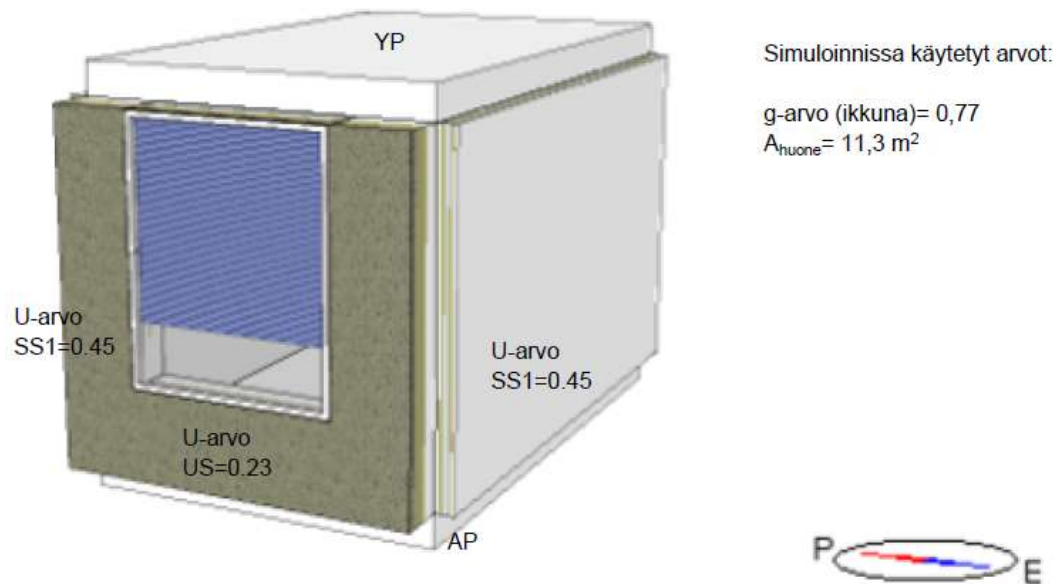
huoneiston jäähdytystehontarpeeksi saadaan noin 2,1 kW. Tästä voidaan todeta, että kokemusperäisillä arvoilla laskettuna tehon tarpeen suuruus jää puolet pienemmäksi. Se voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi laitevalintoihin, jotka kannattaakin hieman ylimitoitaa. Yleensä tällä tavalla laskettuna voidaan päästä kuitenkin riittävän lähelle todellisia arvoja, mutta tällöin ei ole otettu huomioon tarkkoja jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä kuten rakenteita, auringon säteilyä ja lämpökuormaa, sisäisiä lämpökuormia sekä ikkunoiden suuntausta.

Taulukko 1. Huonetilojen pinta-alat ja laskettu jäähdytystehontarve simuloimalla sekä kokemusperäisillä arvoilla laskettuna.

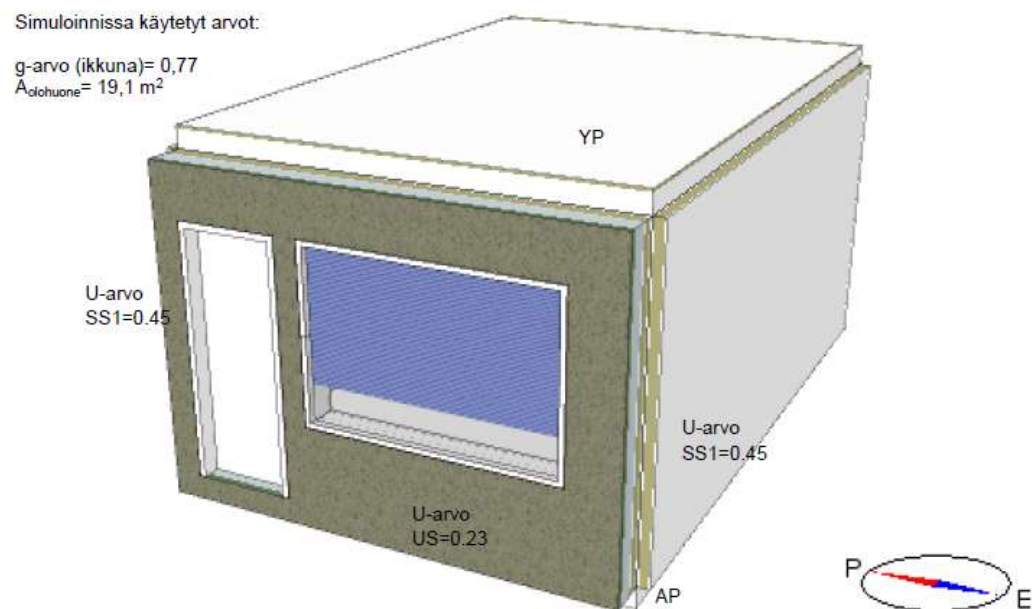
Huone	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Jäähdytystehontarve (W)	
		Kokemusperäiset arvot	Simulointi
Makuuhuone 1	11,3	339	640
Makuuhuone 2	9,1	273	630
Makuuhuone 3	10,5	315	630
Olohuone	19,1	573	830
Keittiö	13,2	396	1015
Eteinen	5,7	171	300
YHT.	68,9	2067	4045

### 6.2.2 Huoneiston simulointi

Simuloin Swegonin ESBO -mitoitushjelman avulla jokaisen huoneen erikseen. Kuvassa 21 on esitetty makuuhuone 1:n malli ja kuvassa 22 on olohuoneen malli. Loput asunnon huoneet on simuloitu samalla tavalla ottaen huomioon niiden vaihtelevat pinta-alat. Huoneiston tilojen ikkunat sijaitsevat pääosin länteen päin, ainoastaan keittiössä on ikkuna, joka sijaitsee etelään päin. Ikkunoissa on sälekaihtimet ikkunalasien välissä.



Kuva 21. Makuuhuone 1 simuloituna länteen päin.



Kuva 22. Olohuone simuloituna länteen päin.

### 6.2.3 Huoneiston jäähdytyksen toteutus ja päätelaitteiden valinta

Koska kiinteistö on saneerauskohde, huoneistoon sijoitettavan päätelaitteen tyypin valintaan vaikuttaa muun muassa rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä. Kiinteistö on rakennettu 60-luvun alkupuolella, ja silloin tyypillisimmät ilmanvaihdon ratkaisut olivat painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihto. Kohteessa onkin käytetty koneellista poistoilmanvaihtoa, joten raittiin ilman saaminen huoneistoon toteutetaan esimerkiksi raitisilmäsäleikköjen avulla ikkunakarmista tai korvausilmaventtiileiden avulla seinästä. Tämä rajaa tuloilman hyödyntämisen viilennyksessä pois, joten päätelaitteeksi ei sovi esimerkiksi aktiivipalkki, koska siinä hyödynnetään tuloilmaa. (6, s. 237.)

Huonetilojen jäähdytys on suunniteltu toteutettavaksi puhallinkonvektoreilla. Esimerkkihueistoon on valittu 2 kpl Sabiana CVP-ECM-T 4 -seinämallisia puhaltimia. Kuvassa 23 on esitetty kyseinen malli. Huoneiston viilennys on tässä työssä suunniteltu toteutettavaksi kahdella päätelaitteella, ja ne sijoitetaan eteistilaan sekä olohuoneeseen.



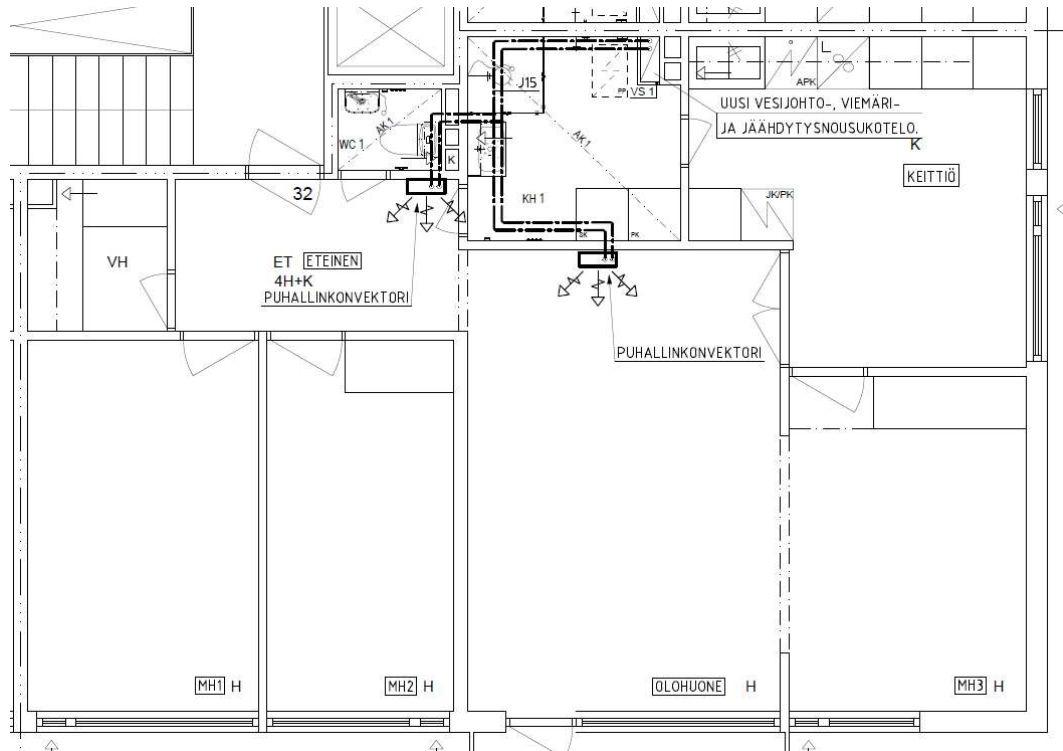
Kuva 23. Sabiana-seinäpuhallin, malli CVP-ECM-T 4.

Jäähdytystehot puhallinkonvektoreille on mitoitettu meno- ja tuloveden lämpötiloille 14/18°C ja huoneilman olosuhteille +25 °C / RH 50 %. Puhaltimessa on EC-moottori, ja se on mitoitettu keskipuhallinnopeudelle 5 V (vaihtelu 0 V puhallinmoottorit ei pyöri, 1...10 V puhallinmoottorit pyörivät eri nopeuksilla). Tällä saadaan yhdelle puhaltimelle jäähdytystehoa noin 1,2 kW:n verran, puhaltimen kierrosnopeutta lisättäessä jopa enemmän. Näin ollen huoneistoon tulevat kaksi puhallinkonvektoria tuottavat yhteensä noin 2,5–3,0 kW jäähdytystehoa. Kyseisessä puhallinmallissa on valmiiksi asennettu 2-tieventtiili sekä kondenssivesipumppu, jolla saadaan kondenssivesi pumpattua, jos sille on tarve. Tässä tilanteessa puhallin ei kondensoi, joten sitä ei tarvita. Puhallinkonvektorin

toimitukseen sisältyy myös seinäsäädin, jolla laitetta ohjataan. Puhaltimen tarkemmat mitoitusajot näkyvät liitteessä 1.

#### 6.2.4 Puhaltimen sijoitus esimerkkihuoneistossa

Puhallinkonvektorinärkevin sijoituskohta katsotaan aina asuntokohtaisesti. Yleensäärkevin sijoituspaikka sille on kuitenkin olohuoneessa tai eteisessä, josta ilma viennyt ilma pääsee levittymään mahdollisimman laajasti huoneisiin. Makuuhuoneiden ja muiden asuinhuoneiden ovet on hyvä pitää aina auki käyttäessä viennystä, jotta viennetty ilma levittyy mahdollisimman laajalle alueelle ja viilentää tilat mahdollisimman tehokkaasti. Koska eteiseen, olohuoneeseen ja muihin tiloihin ei tule alakattoa linjasaneerauksen yhteydessä, johon puhallinkonvektorin saisi upotettua, käytetään seinämallisia puhallinkonvektoreita. Kuvassa 24 on esitetty ehdotus puhaltimien sijoituksille. Eteiseen sijoitettu puhallin viilentää eteistä sekä makuuhuonetta 1 ja 2. Olohuoneeseen sijoitettu puhallin viilentää olohuonetta, makuuhuonetta 3 sekä vähän keittiötilaa. Puhallinkonvektorin sijoitusta makuuhuoneen puolelle kannattaa harkita tarkkaan, sillä ongelmaksi voi muodostua sen aiheuttama äänihaitta, joka voi häiritä tilassa oleskelevaa henkilöä.



Kuva 24. Luonnosehdotus puhallinkonvektoreiden sijoituksesta esimerkkihuoneistoon.

### 6.3 Kustannuslaskelma esimerkkikohteeseen

Taulukossa 2 on esitetty karkea kustannuslaskelma. Se on laskettu B-talolle ja sisältää kyseisen rakennuksen arvioidut kustannukset. Laskelma ei siis sisällä rakennuksesta eteenpäin lämmönjakohuoneelle meneviä putkia. B-talon kaikki huoneistot ovat keskenään samanlaisia, joskin peilikuvia toisistaan, ja jokaiseen on suunniteltu tulevan kaksi kappaletta puhallinkonvektoreita. Jäähdytyksen nousulinjoihin on laskettu mukaan kuuluvaksi kaikki nousuputket 1. kerroksesta 4. kerrokseen, vaakaputkitukset asuntoihin sekä sulkuventtiilit ja eristeet. Päätelaitteiden sekä jäähdytyksen nousulinjojen ja tarvikkeiden hinnat on saatu tavarantoimittajalta.

Taulukko 2. B-talon karkea arvio kustannuksista.

Kustannukset/ B-talo	€
Päätelaitteet	32000
Jäähdytysnousut (sis. nousu- ja vaakaputket huoneistoihin, venttiilit, eristeet)	30000
Rakennustyöt (rakennus,- LVI- ja sähkötyöt)	135200
YHT.	197200

Tarkoitus on kustannuslaskelmalla tuoda esille yhden talon suuntaa antavat kustannukset päätelaitteiden, putkitusten ja tarvikkeiden osalta ja kustannuksiin on myös laskettu karkea arvio rakennustöistä. Rakennustöiden hinta-arvio sisältää kaikki tarvittavat rakennus-, LVI- ja sähkötyöt. Jokaiselle B-talon huoneistolle aiheutuisi kustannuksia noin 12 000–13 000 €, jos kustannukset jaettaisiin tasan osakkaiden kesken. Suurimmat kustannukset syntyisivät kiinteistön jäähdytysverkoston rakentamisesta. Laskelmia voidaan hyödyntää koko kiinteistöä koskevan jäähdytysjärjestelmä suunnittelussa, mutta se vaatii huomattavasti laajemman selvityksen koko kiinteistöstä.

## 7 Yhteenveto

Yhä useammin saneerausikäisiin kohteisiin tehdään erilaisia energiaselvityksiä, jotta päästään perille erilaisista ratkaisuista parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Maakylmä onkin erittäin hyvä ja energiatehokas ratkaisu vanhoihinkin rakennuksiin, joissa siirtyminen maalämpöön on mahdollista. Monesti nämä tehdään suurempien saneerauksien yhteydessä.

Tässä insinööritöössä selvitettiin, mitä maalämpö ja maakylmä yleensä ottaen on sekä mitä tulee ottaa huomioon ennen niiden rakentamista. Tarkoitus oli myös avata jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä, jotka liittyvät oleellisesti maakylmään. Työn tavoitteena oli simuloinnin avulla laskea tarvittava jäähdytysteho esimerkkihuoneistolle.

Tehontarpeen avulla valittiin päätelaitteet eli puhallinkonvektorit huoneistoon. Lopuksi tuloksena saatiin karkea kustannusarvio yhdestä esimerkkikohteen rakennuksesta.

Aihe on todellisuudessa hyvinkin laaja, ja sisältäisi monipuolisia taloteknisiä näkökulmia, mutta tässä työssä oli tarkoitus rajata se vain LVI-tekniisiin asioihin. Näin ollen kaikkiin osa-alueisiin ei ole perehdytty syvällisemmin. Tavoite tässä työssä olikin saada suuntaa antava selvitys maakylmän mahdollisuuksista ja vaatimuksista vanhassa asuinrakennuksessa sekä karkea kustannusarvio maakylmän jäähdytysputkistojen ja päätelaitteiden rakentamisesta yhteen rakennukseen.

## Lähteet

- 1 Euroopan talous- ja sosiaalikomitea. 2005. Lausunto. Geotermisen energian käyttö – maalämpö. Euroopan unionin virallinen lehti. <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2005:221:0022:0027:FI:PDF>> Luettu 28.2.2020
- 2 Maalämpö. 2020. Verkkoaineisto. Tom Allen Senera. <[https://www.tomallensenera.fi/maalampo?gclid=EALalQobChMIs6Dr5Lmj5wIVVofVCh0NRwovE-AYYAIAAEgLoRvD\\_BwE](https://www.tomallensenera.fi/maalampo?gclid=EALalQobChMIs6Dr5Lmj5wIVVofVCh0NRwovE-AYYAIAAEgLoRvD_BwE)> Luettu 28.2.2020
- 3 Lämpöpumppujen myyntitilastoja. Verkkoaineisto. SULPU ry. <https://www.sulpu.fi/documents/184029/0/La%CC%88mpo%CC%88pumpputilasto%202019%2C%20%20kuvaajat%20FI.pdf>. Luettu 1.3.2020
- 4 Maankäytön suunnittelu ja maalämpö. 2020. Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala. Sweco Talotekniikka Oy ja Sweco Ympäristö Oy. <<https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/aineistot/aineistoja-01-20.pdf>> Luettu 1.3.2020
- 5 Maakylmä. 2020. Verkkoaineisto. Maalämpö.fi. <<http://www.maalampo.fi/artikkelit/maakylma-on-ekologinen-tapa-jaahdyttaa/>> Luettu 4.3.2020
- 6 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 7 Maakylmä. 2020. Verkkoaineisto. Lämpöykkönen Oy. <<https://lampoykkonen.fi/tuotteet/maalampo/maakylma/>> Luettu 7.3.2020
- 8 Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto. 2010. Helsingin kaupungin rakennusjärjestys. Helsinki: rakennusvalvontavirasto. <[https://www.hel.fi/static/rakvv/Rakennusjarjestys\\_tulkinnat.pdf](https://www.hel.fi/static/rakvv/Rakennusjarjestys_tulkinnat.pdf)> Luettu 7.3.2020
- 9 Juvonen Janne, Lapinlampi Toivo. 2013. Energiakaivo – maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas, ympäristöministeriö. <[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4)> Luettu 10.3.2020
- 10 Maanalainen yleiskaava: maanalaisen yleiskaavan muutoksen suunnitteluperiaatteet. 2017. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto. [www.hel.fi](http://www.hel.fi). <[https://www.hel.fi/hel2/ksv/liitteet/2017\\_kaava/5066\\_9\\_suunnitteluperiaatteet.pdf](https://www.hel.fi/hel2/ksv/liitteet/2017_kaava/5066_9_suunnitteluperiaatteet.pdf)> Luettu 7.3.2020



- 11 Helsingin maanalainen yleiskaava. 2020. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.hel.fi/Helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/ajankohtaiset-suunnitelmat/maanalainen-yleiskaava>> Luettu 7.3.2020
- 12 Maanalainen kaava, kartta. 1992. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://kartta.hel.fi/helshares/kaavapdf/9890.pdf>> Luettu 04.03.2020
- 13 Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 14 Rakennusten kaukojäähdytys, yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. 2014. Julkaisu J1. Helsinki: Energiateollisuus
- 15 Rakennusten kaukolämmitys, yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. 2014. Julkaisu K1. Helsinki: Energiateollisuus.
- 16 Nuutinen, Tommi. 2015. Kaukojäähdytys vanhoissa asuinkerrostaloissa. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Hanki hallitusti maalämpöjärjestelmä. Elvari, Epiteetti Oy. 2011. Motiva. <[https://www.motiva.fi/files/4764/Hanki\\_hallitusti\\_maalampojarjestelma.pdf](https://www.motiva.fi/files/4764/Hanki_hallitusti_maalampojarjestelma.pdf)> Luettu 06.03.2020
- 18 Eskola Lari, Jokisalo Juha ja Siren Kai. 2012. Verkkoaineisto. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Aalto Yliopisto. <<https://docplayer.fi/683121-Lampopumppujen-energiaskentaopas.html>> Luettu 02.04.2020
- 19 Nieminen, Saku. 2016. Uusiutuvan energian vaihtoehdot Suomenniemen koulu-keskuksen energiahankinnassa. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 20 Kallio, Jarmo. 2009. Geoenergian hyötykäyttö suurkohteissa ja yhdyskuntasuunnittelussa. Seminaariesitys. <[http://www2.jkl.fi/kaavakartat/uusiutuvat\\_energia-muodot\\_seminaari/jk\\_esitys\\_190809.pdf](http://www2.jkl.fi/kaavakartat/uusiutuvat_energia-muodot_seminaari/jk_esitys_190809.pdf)> Luettu 10.04.2020
- 21 Kalliomäki, Pekka, Rakennusneuvos, ympäristöministeriö. 2018. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Lounais-Suomen sisäilmapäivät 2018. Verkkoaineisto. <<https://www.avi.fi/documents/10191/10237474/13112018+sis%C3%A4ilmap%C3%A4iv%C3%A4%20Kalliom%C3%A4ki+YM+asetus+sis%C3%A4ilmastosta+ja+ilmanvaihdosta.pdf/8da238e7-aaa9-4f25-9042-a6d75b8aa5e4>> Luettu 05.03.2020

- 22 Tekninen liite muistioon: Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2011. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/d3\\_muistion\\_tekninen\\_liite.pdf](http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/d3_muistion_tekninen_liite.pdf)> Päivitetty 28.03.2011. Luettu 10.04.2020
- 23 Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa. 2007. Ohjetiedosto. LVI30-10416. Rakennustieto Oy.
- 24 Ikkunoiden energiatehokkuus. 2019. Verkkoaineisto. Motiva.fi. <[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/ikkunoiden\\_energialuokitus/ikkunoiden\\_energiatehokkuus](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_energiatehokkuus)> Luettu 06.03.2020
- 25 Lindfors, Juha. 2017. VRF- ja vesijäähdytysjärjestelmien vertailu toimistorakennusten jäähdytyksessä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Verkkoaineisto. <<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25099/Lindfors.pdf?sequence=4&isAllowed=y>> Luettu 15.03.2020
- 26 ItuFloor lattialämmitys ja -viilennys. 2020. Verkkoaineisto. www.itula.fi <<https://www.itula.fi/itufloor>> Luettu 12.4.2020
- 27 Maakylmä-esite. 2017. Onninen Oy.
- 28 Helsingin kaupunki, karttapalvelu. 2020. Verkkoaineisto. <<https://kartta.hel.fi/>> Luettu 7.3.2020
- 29 Koski-Lammi, Pekka. 2012. Korjausrakentaminen: asuinkerrostalot 1960-1980. Opetusmateriaali, EVTEK. Espoo.
- 30 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. Verkkoaineisto. Motiva.fi. <[https://www.motiva.fi/files/13536/Ymparistoministerion\\_asetus\\_uuden\\_rakennuksen\\_energiatehokkuudesta.pdf](https://www.motiva.fi/files/13536/Ymparistoministerion_asetus_uuden_rakennuksen_energiatehokkuudesta.pdf)> Luettu 9.4.2020
- 31 Skanska rakentaa uusia asuntoja Espoon Westendiin. 2012. Lehistötiedotteet. Verkkoaineisto. Skanska. <[https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/media/uutiset/49485/Skanska-rakentaa-uusia-asuntoja-Espoon-Westendiin->](https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/media/uutiset/49485/Skanska-rakentaa-uusia-asuntoja-Espoon-Westendiin-) Luettu 18.4.2020

## Sabiana -puhallinkonvektorin mitoitus tiedot



Further to our offer N° Page 2 -

Mitoitus vesi: (14/18)°C

Proposed model: Carisma CVP-ECM-T-3V-4 Infra-red remote control + Three way valve for two-pipes

Required accessories	
1.	Fitted condensate pump (9025319 / PCF-M)

Working conditions in cooling										
Speed	10 V	9 V	8 V	7 V	6 V	5 V	4 V	3 V	2 V	1 V
Air entering temp. dry bulb °C:	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Air humidity %:	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Entering water temperature °C:	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Leaving water temperature °C:	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Water flow l/s:	0,094	0,091	0,087	0,083	0,079	0,074	0,070	0,065	0,060	0,055
Total emission W (E):	1552	1494	1433	1368	1297	1223	1152	1080	1000	917
Sensible emission W (E):	1552	1494	1433	1368	1297	1223	1152	1080	1000	917
Water pressure drop kPa (E):	11,8	11,0	10,2	9,4	8,5	7,6	6,8	6,1	5,3	4,5
Leaving air temperature °C:	18,8	18,7	18,6	18,5	18,4	18,2	18,1	18,0	17,8	17,6
Condensed water kg/h:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Technical data										
Speed:	10 V	9 V	8 V	7 V	6 V	5 V	4 V	3 V	2 V	1 V
Air flow m <sup>3</sup> /h	770	728	686	642	596	550	508	465	420	375
Input power W (E)	30	27	24	21	18	16	14	12	11	9
Noise power Level L <sub>w</sub> dB(A) (E)	57,00	55,40	53,80	52,20	50,60	49,00	47,50	46,00	44,50	43,00
Noise pressure Level L <sub>p</sub> dB(A)*	48,00	46,40	44,80	43,20	41,60	40,00	38,50	37,00	35,50	34,00

(\*) The sound pressure level applies to the reverberant field of a 100 m<sup>3</sup> room and a reverberation time of 0.5 sec.